

処分場研究グループ

# オープン処分場の土木施設研究分科会

- 研究の目的

— 遮水工に関する変形挙動の把握と設計手法の研究 —

① ベントナイト混合土(ジオネット補強)の沈下変形挙動

② 沈下変形したベントナイト混合土の透水性の変化

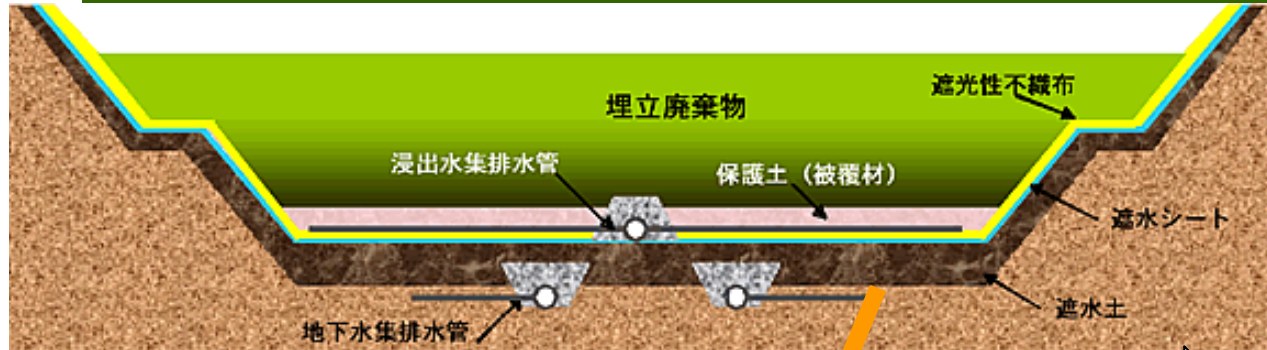
- メンバー

主査: 宇佐見貞彦、副主査: 工藤 賢悟

メンバー: 加納光、松山眞三、工藤賢悟、志々目正高、  
野々田充、原田高志、山本実、瀬瀬拓也

アドバイザー: 今泉繁良

# 1. ベントナイト混合土の補強効果



ベントナイト混合土は、基盤沈下に伴い追従沈下して亀裂が発生すると、透水係数が低下する。

ベントナイト混合土の許容沈下量、必要な地盤強度を昨年度まで実施してきた。

今年度は、**ジオネット**で補強したベントナイト混合土の**変形追従性能**について研究した。

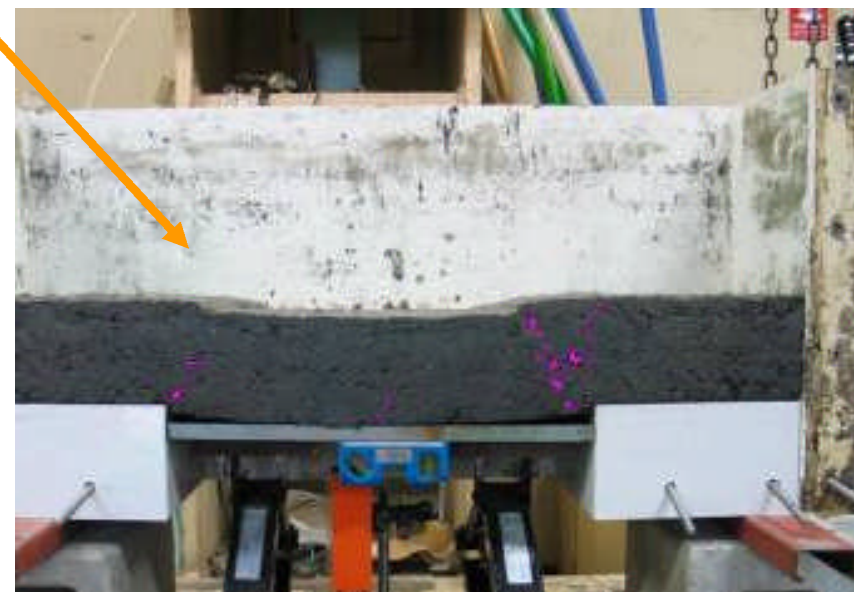
# 1. 1 これまでの研究概要

試験速度	試験項目
急速変形	変形挙動 透水性
緩速変形	変形挙動 透水性

急速変形: 1mm/min

緩速変形: 1mm/day

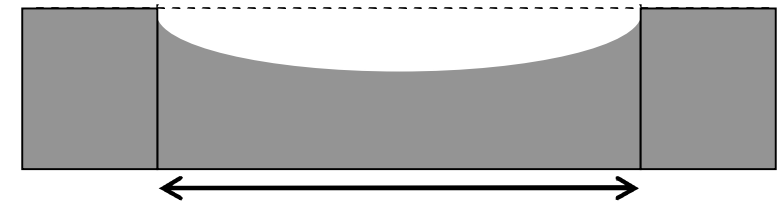
ベントナイト混合土は**変形速度に関係なく**、ひび割れが発生して破断する。その時の**沈下量は数cm程度**である。



## 1.1.1 過去の実験ケース

(ベントナイト混合土変形実験ケース)

凹部の幅	厚さ 50mm	厚さ 100mm	厚さ 200mm
300mm		①, ②, ③, ④, ⑤	
400mm	⑥	⑦	⑧
500mm		⑨	⑩



実験のケースは、10通りである。

①～⑤は厚さとスパンを固定し、締固め度を変化させた。

⑥以降は、締固め度を95%以上として、スパンや厚さを変化させて、破壊状況を確認した。



## 1.1.2 実験結果報告

### (ベントナイト混合土変形結果一覧)

実験No.	凹枠深mm	厚さmm	スパンL	せん断スパン比	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	Dc%	最大荷重 kPa	中央沈下量 mm	クラックの種類
①	30	100	300	1.5	1.84	97.9	166.7	14	なし
②	50	100	300	1.5	1.841	98.3	88.26	12	せん断
③	80	100	300	1.5	1.87	99.35	107.8	14.5	せん断
④	50	100	300	1.5	1.78	94.6	98	11	せん断
⑤	80	100	300	1.5	1.744	93	68.65	30	せん断・曲げ
⑥	80	50	400	4	1.85	98.4	0	40	せん断・曲げ
⑦	80	100	400	2	1.88	100.31	58.8	23.7	曲げ・せん断
⑧	80	200	400	1	1.79	95.2	98	39.67	せん断
⑨	80	100	500	2.5	1.84	98.3	29.4	12.81	曲げ・せん断
⑩	80	200	500	1.25	1.76	93.7	107.8	30	せん断

### 1.1.3 実験結果と解析モデル

(単純梁と見なすと)

$$yc = \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times Es \times I}$$

$E_s$  = 変形係数(kN/m<sup>2</sup>)、

$L$  = 凹部の幅(m)、

$I$  = 断面二次モーメント = (m<sup>4</sup>)

$h, b$  = 土層の厚さと奥行き(m)

実験 NO	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	15,263	9,503	9,914	11,480	2,972	2,740	10,113	1,270	23,468	4,530

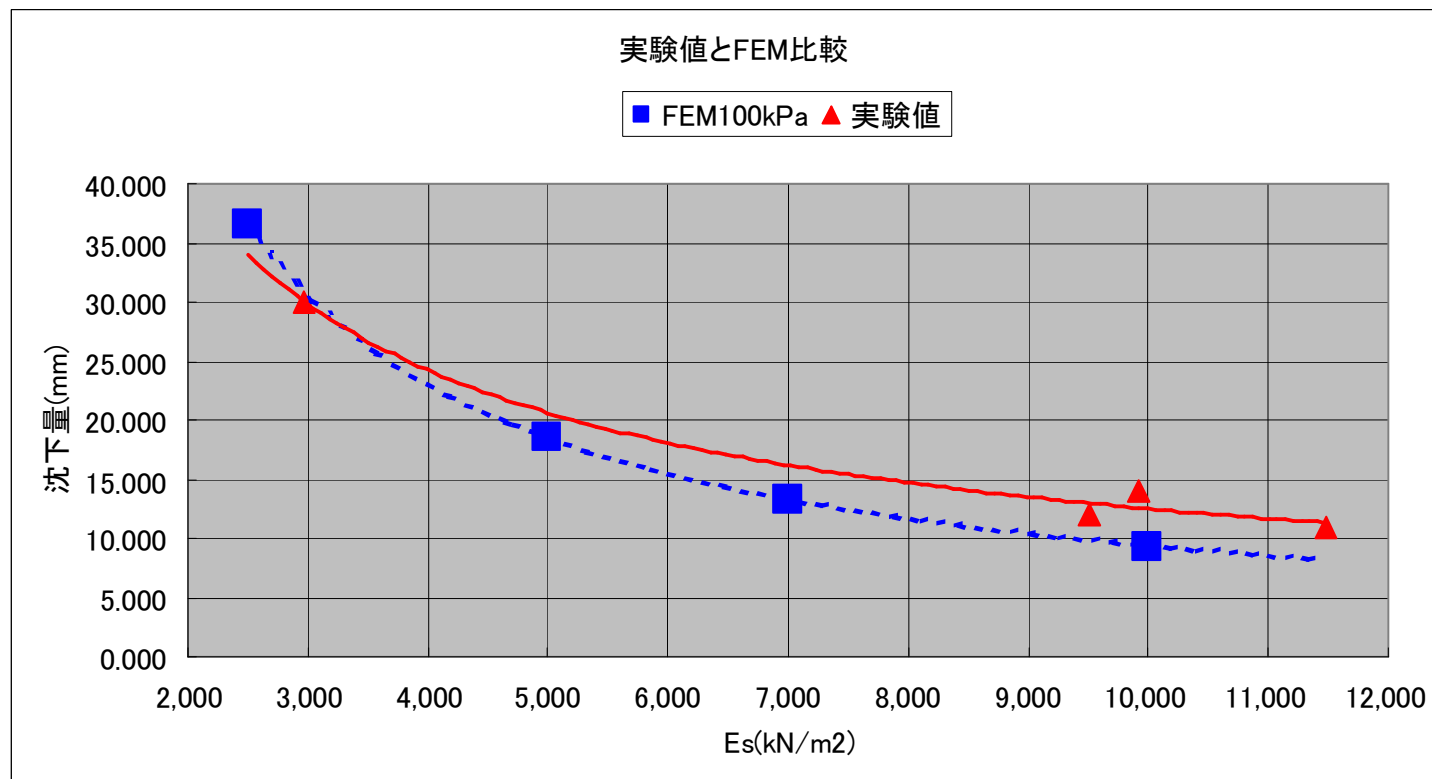
実験から得た変形係数 ( $E_s$ ) を使用し、線形弾性FEM解析を行い、実験結果と比較した。

# 1.1.4 実験結果と解析モデル

## ( 実験値とFEM計算値比較 )

		FEM1	1S-⑤	FEM2	FEM3	1S-②	1S-③	FEM4	1S-④
	変形係数	2,500	2,972	5,000	7,000	9,503	9,914	10,000	11,480
沈下量	FEM70kPa	25.989		13.164	9.439			6.626	
	FEM100kPa	36.597		18.539	13.291			9.331	
	実験値		30.000			12.000	14.000		11.000

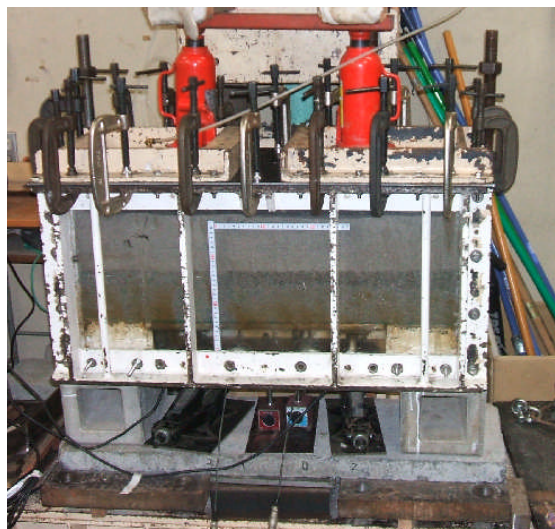
凹部中央鉛直沈下量の計算結果と実験値の一覧



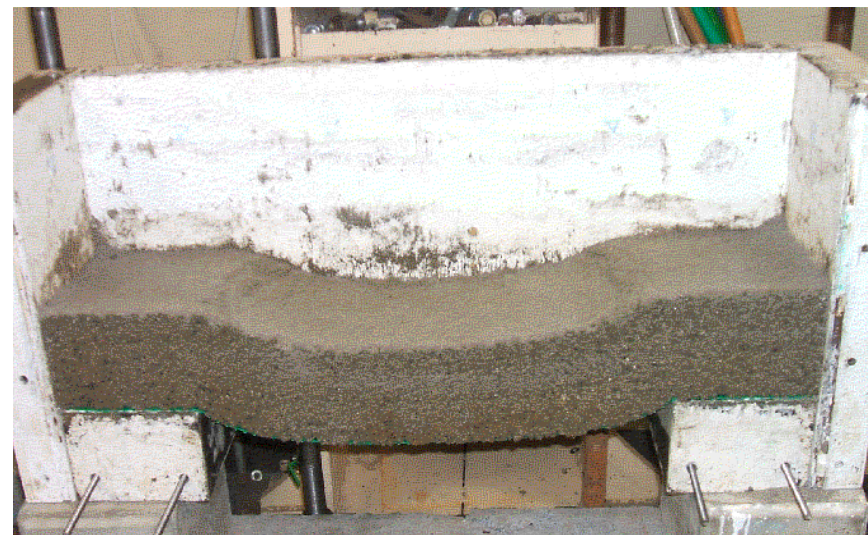
## 1. 2 2009年度の成果



トリカルネットを使用して



変形試験を行うと



ひび割れが発生しないことを確認



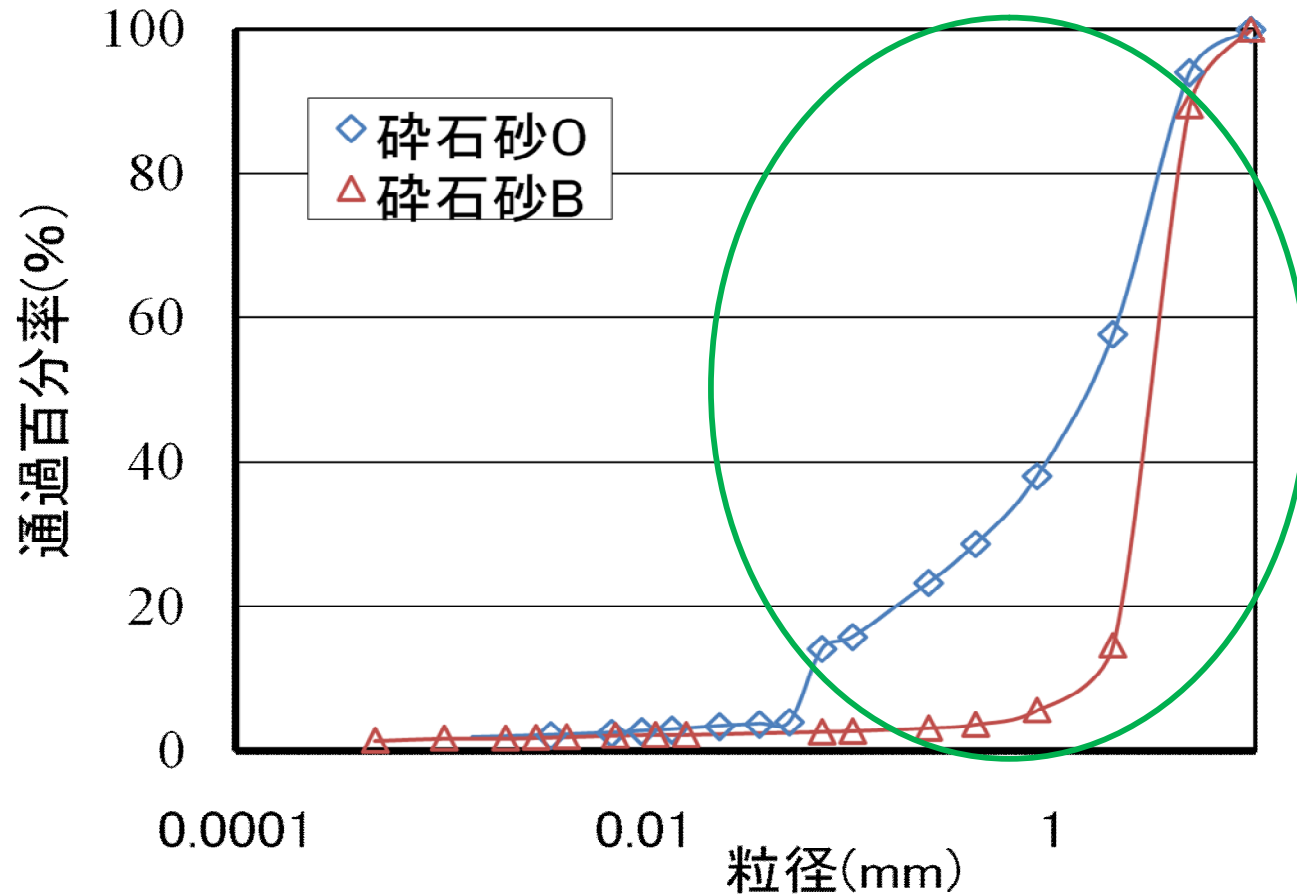
ネットとベントナイト混合土が一体として機能





# 使用する材料

## ●母材



特性	砕石砂O	砕石砂B
最大粒径(mm)	9.5	9.5
均等係数 $U_c$	33.2	1.94
曲率係数 $U_c'$	1.6	1.53
粗粒分(%)	76.7	96.9
細粒分(%)	14.0	1.3

粒度分布の**良いもの**と**悪いもの**

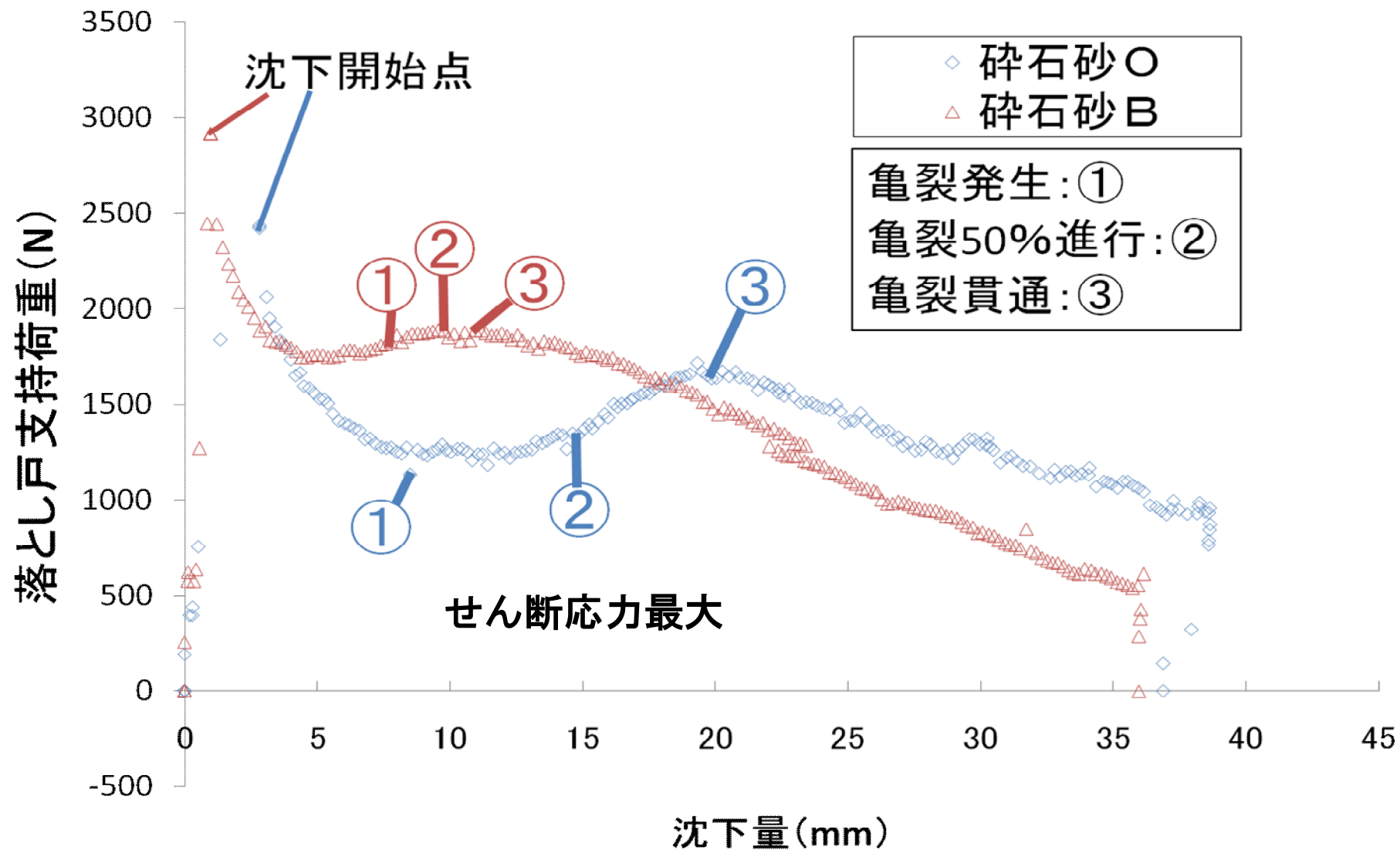
●これにNa型ベントナイトを10%添加し、混合土を作成

# 実験ケース

No.	碎石の種類	ジオネットの有無、種類	最終上載圧力 (kPa)
1	O	無	118
2	O	6.4mm格子	118
3	O	10mm格子	118
4	O	6.4mm格子	147
5	B	無	118
6	B	6.4mm格子	118
7	B	10mm格子	118
8	B	無	147
9	B	10mm格子	147
10	B	10mm格子	196

比較 { 母材の違い  
ジオネットの違い  
上載圧力の違い

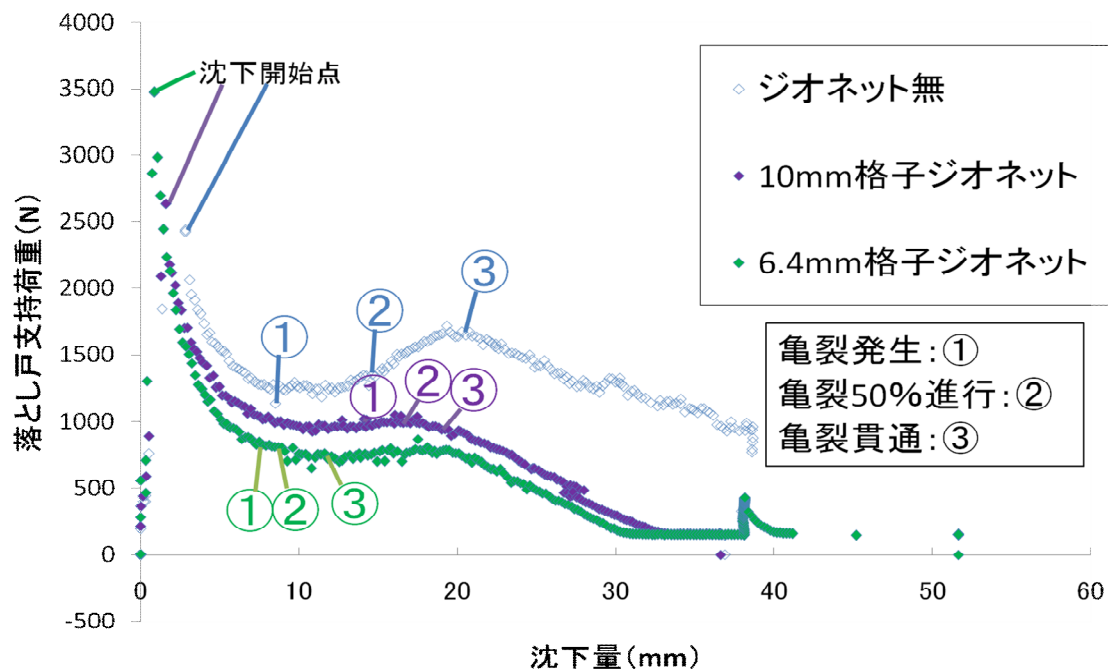
# (1) 母材の異なるジオネット無の比較



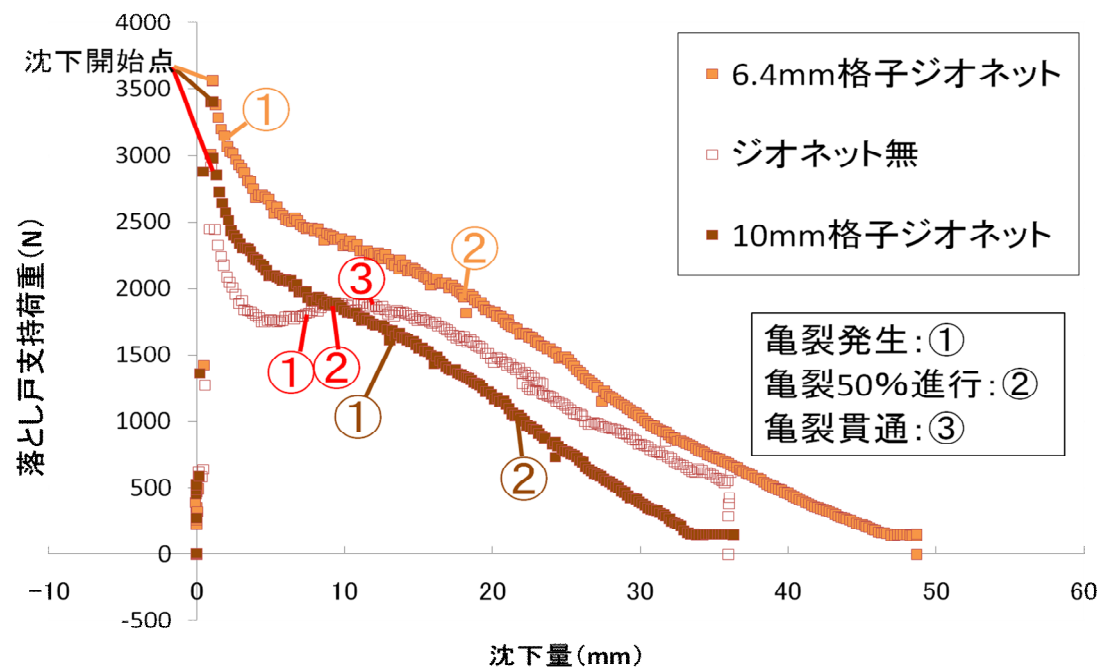
ケース		沈下 開始点	亀裂状況		
			発生	50%進行	貫通
碎石O	沈下量(mm)	2.8	8.5	14.3	20.3
	支持荷重(N)	2438	1137	1340	1676
碎石B	沈下量(mm)	1.0	7.0	9.8	11.0
	支持荷重(N)	2916	1786	1884	1889

## (2) 母材と格子の異なるジオネット有の比較

### 碎石砂O



### 碎石砂B



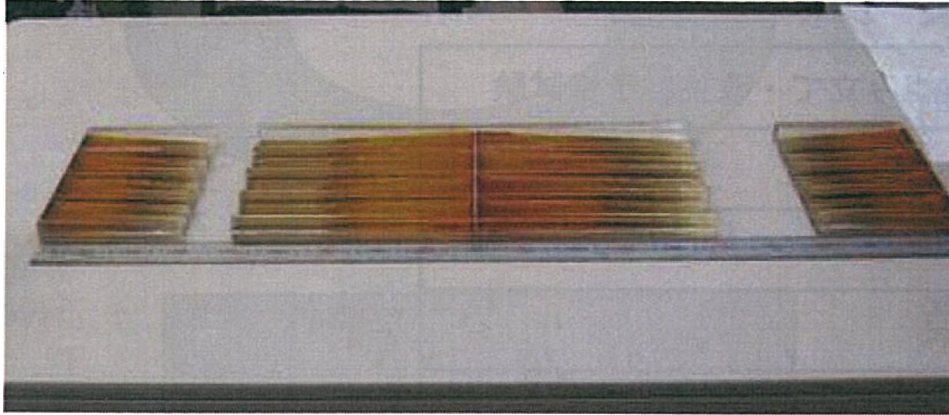
ケース		沈下開始点	亀裂状況		
			発生	50%進行	貫通
無	沈下量(mm)	2.8	8.5	14.3	20.3
	支持荷重(N)	2438	1137	1340	1676
6.4mm	沈下量(mm)	0.9	7.5	8.9	13.2
	支持荷重(N)	3479	845	801	745
10mm	沈下量(mm)	1.6	14.8	16.8	18.4
	支持荷重(N)	2636	982	992	963

ケース		沈下開始点	亀裂状況		
			発生	50%進行	貫通
無	沈下量(mm)	1.0	7.0	9.8	11.0
	支持荷重(N)	2916	1786	1884	1889
6.4mm	沈下量(mm)	1.1	2.2	18.9	発生せず
	支持荷重(N)	3567	3028	1977	
10mm	沈下量(mm)	1.1	13.1	21.9	発生せず
	支持荷重(N)	3403	1615	1024	

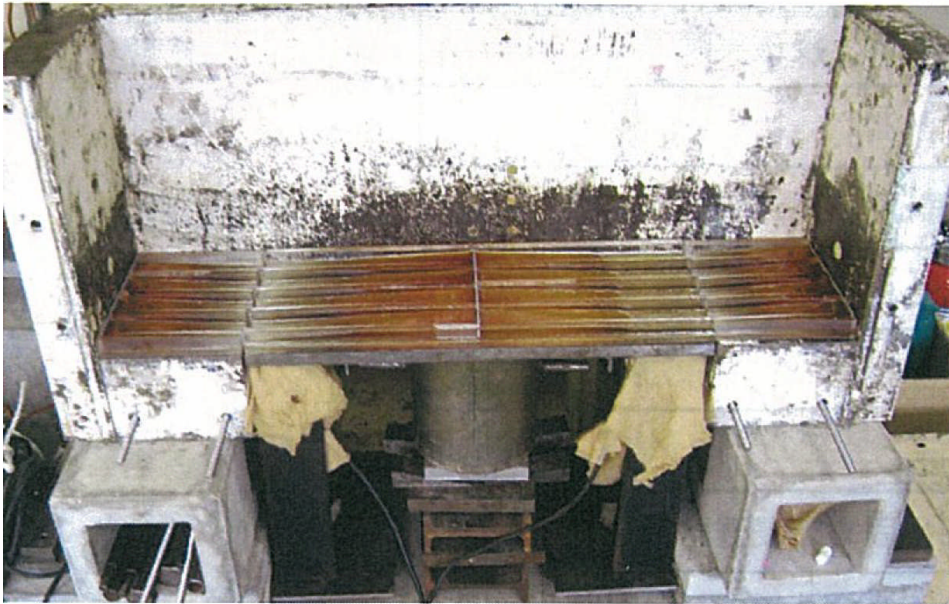


# 1. 3 2010年度の成果

## 1.3.1 変形透水試験装置の開発と実験



底盤溝に埋めたビーズ



集水用底盤と設置状況



ジオネットの敷設状況

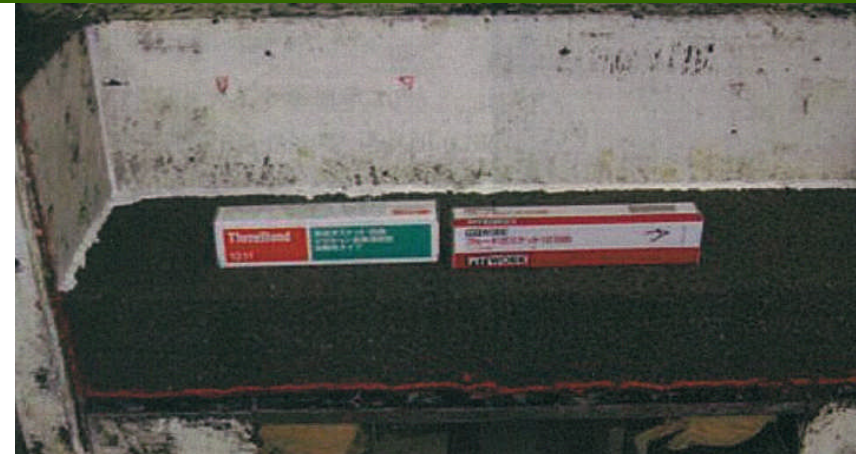


# 1. 3 2010年度の成果

## 1.3.1 変形透水試験装置の開発と実験その2



流出水の採水・計量状況



液体パッキン注入状況

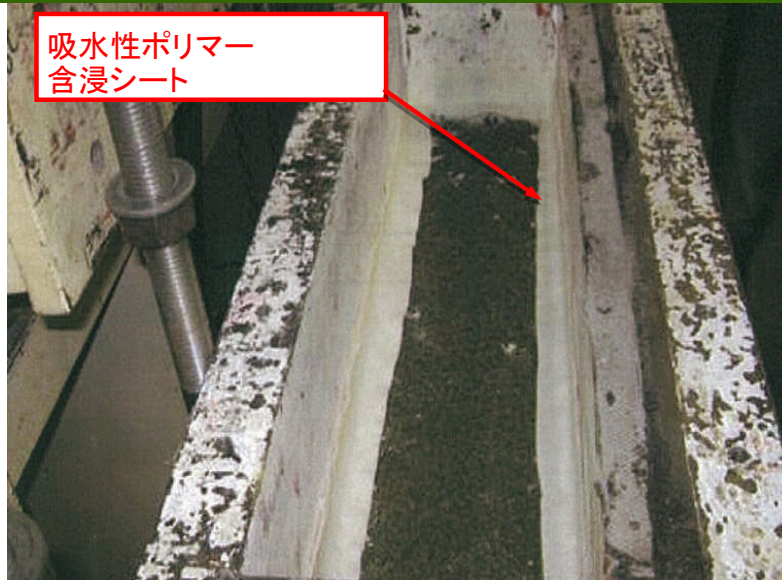


壁面部ベントナイト粉末散布



# 1. 3 2010年度の成果

## 1.3.1 変形透水試験装置の開発と実験その3



水膨潤性含浸シート敷設状況



通水パイプ設置状況



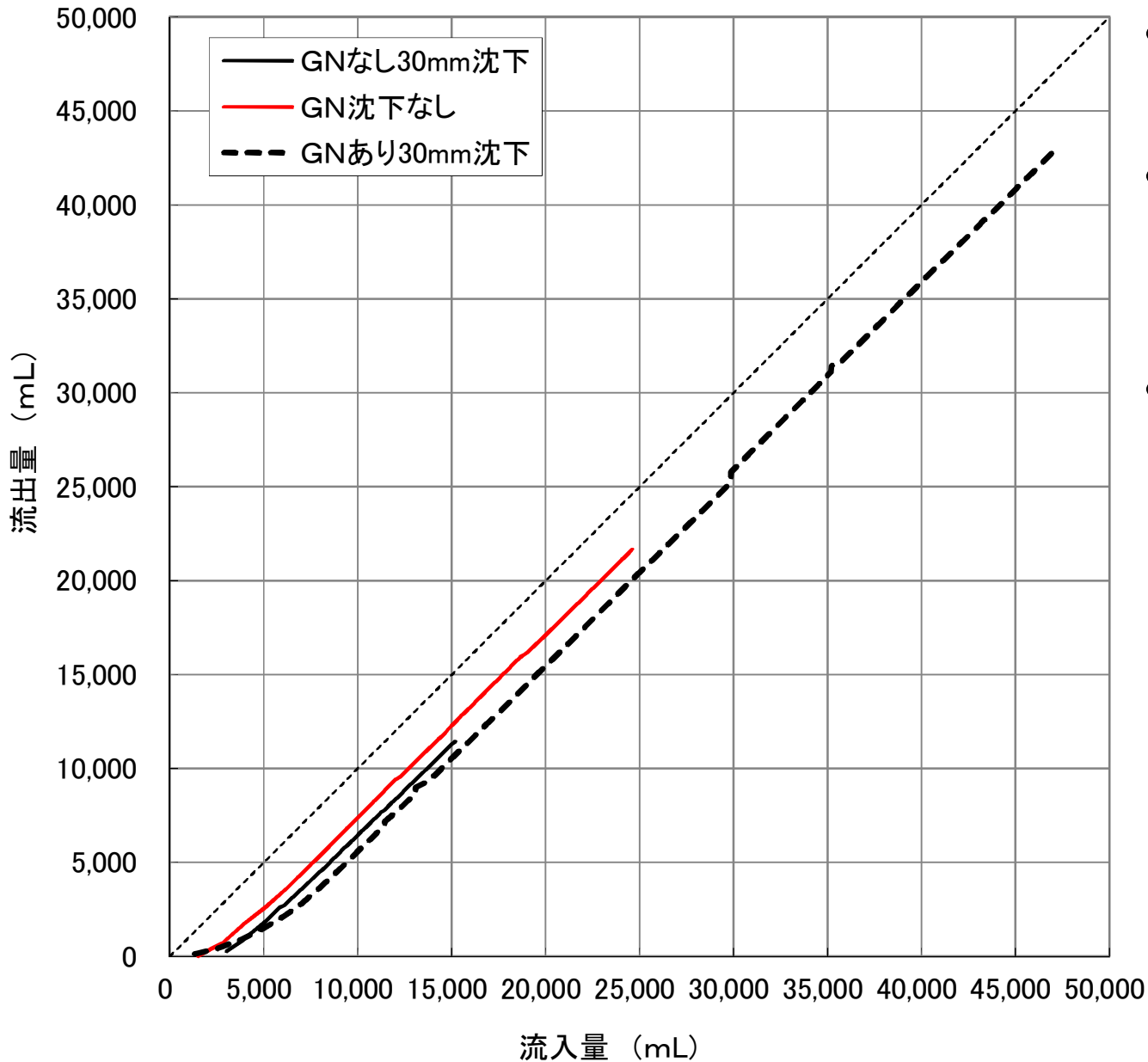
給水装置全景

## 1.3.2 実験ケース 3種類

項目		単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3	
母材	種類		葛生砕石砂 B			
	最大粒径	mm	9.5			
	均等係数		1.94			
	土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.659			
	表面乾燥飽和含水比	%	3.04			
	締固め度	%	95			
	最大乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	1.735			
	最適含水比	%	4.6			
ベントナイト混合土	添加率	%	10.0			
	目標含水比	%	10.0			
	初期含水比	%		10.15		
	終了時含水比	左	%	12.92		10.10
		中央	%	16.07		10.19
右		%	9.86		10.15	
保護砂	初期含水比	%	3.6	0.39		
	締固め後含水比	%		0.18		
	初期乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	1.510	1.552		

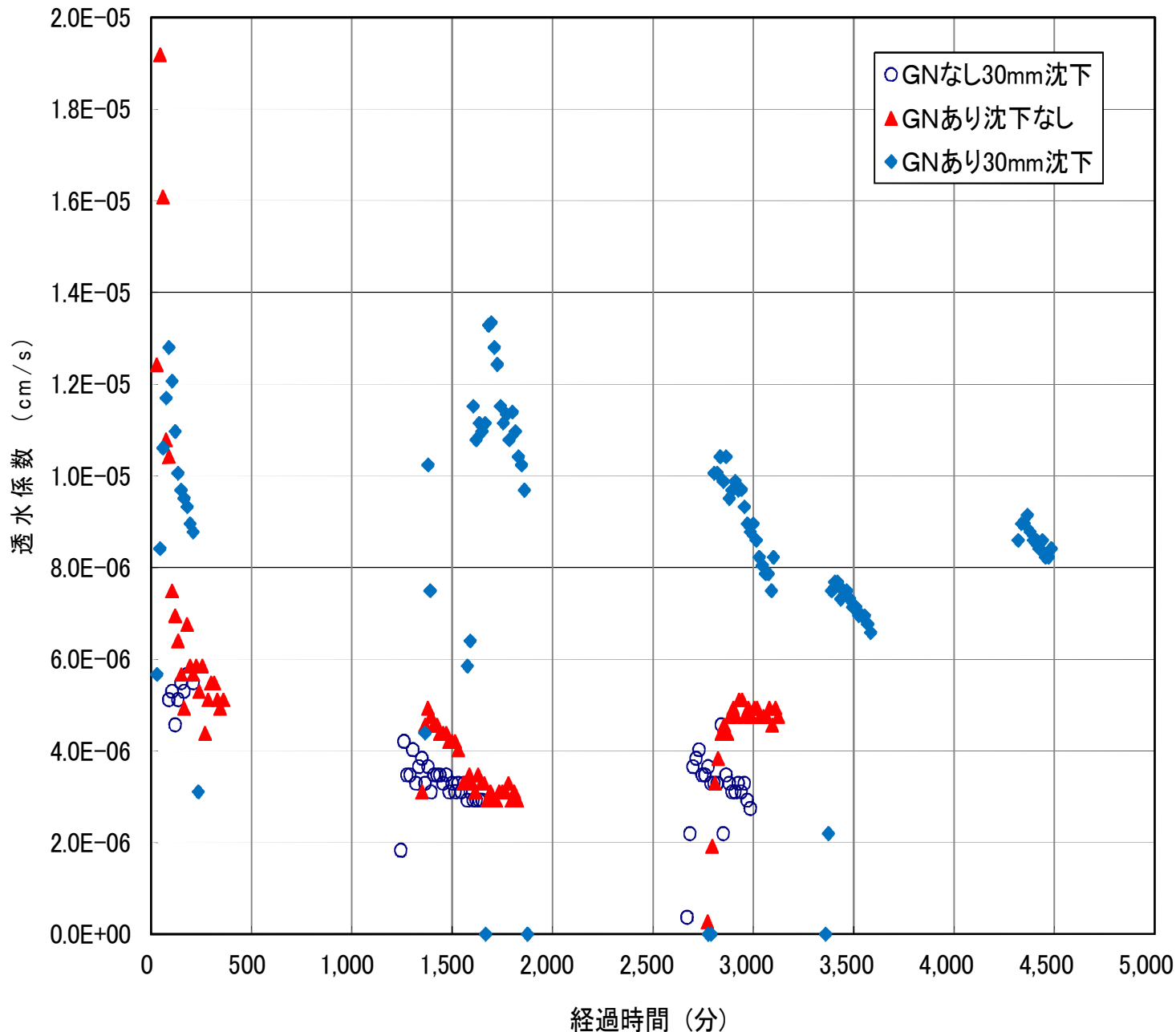


### 1.3.3 流入量と流出量の関係



- 今回の実験における**通水時間は30時間以下**
- 通常**飽和状態に至るまでは1週間(168時間)程度**
- いずれも**不飽和状態**

## 1.3.4 経時的透水性の変化




- 時間の経過とともにベントナイト混合土の透水係数が低下
- 通水・プレ膨潤後のベントナイト混合土にクラックが生じると、局所的な水道ができて漏水量が健全な状態より増加
- プレ膨潤していないベントナイト混合土に通水した場合、クラックの有無に拘わらず漏水量に差異が生じない

## 2. まとめと今後の課題

- ①ベントナイト混合土の許容沈下量は10～30mm程度
- ②クラック部の飽和透水係数は、測定当初は健全部よりも1オーダー大きく、100時間程度経過すれば健全部と大差なし
- ③クラック部は飽和に至るまでの通水量と漏水量が健全部に比べて多い
- ④ベントナイト混合土の変形挙動は、単純梁と仮定したモデルにより、精度高く再現できる
- ⑤沈下速度が遅くなると、ベントナイト混合土が破断する時点の最大荷重も大きくなる。ただし、許容沈下量は沈下速度に関係しない。
- ⑥強度の高いジオネット(N-23)で補強すると、許容沈下量が増大
- ⑦時間の経過とともにベントナイト混合土の透水係数が低下
- ⑧クラックが生じたプレ膨潤後ベントナイト混合土は、局所的な水道ができて漏水量が健全な状態より増加
- ⑨プレ膨潤していない場合、クラックの有無に拘わらず漏水量に差異が生じない



- ①変形透水試験器を連続通水・連続計測が可能なように改良
- ②長時間通水試験による飽和までの透水係数の経時的変化を把握
- ③ジオネットを敷設したベントナイト混合土の変形解析モデルを確立
- ④以上の結果から、適正な遮水工の設計法と構造の提案を行うこと



## Ⅱ. 処分場研究グループ

### Ⅱ－2. 水処理施設の研究

平成23年5月31日



# メンバー

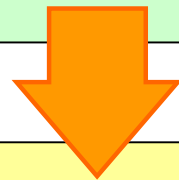
- リーダー 堀井 安雄 クボタ環境サービス(株)
- サブリーダー 大野 文良 清水建設(株)
- 主査 松本 真 (株)エイト日本技術開発
- 副主査 塩澤 靖 荏原エンジニアリングサービス
- 嵯峨 浩靖 鹿島建設(株)
- 西村 隆司 ユニチカ(株)
- 河賀 敦 日本水工設計(株)
- 末廣 多恵子 パシフィックコンサルタンツ(株)
- 喜田 昌良 扶桑建設工業(株)
- 中石 一弘 (個人)(株)イーツーエンジニアリング
- 上田 豊 (株)神鋼環境ソリューション
- 分科会 計8人

# 目次

1. 研究の内容
2. キレート剤
3. キレート剤の影響
4. まとめと水処理施設の対応
5. 水質設定
6. 焼却施設の改善
7. その他

# 1. 研究の内容

- ①問題点の抽出・対応
- ②エコ・長寿命化・低炭素  
→タスクフォースへ移行
- ③機能検査の実施
- ④浸出水水質設定の検討



主に焼却施設で使用している飛灰  
処理剤（キレート剤）の浸出水へ  
の影響に着目して検討

# 視 点

“焼却残渣しか埋め立てていないのに、CODが高くて困っている。置が原因かな？”などの話を聞くことがある。  
そのCODの原因は、このキレー  
ト剤の影響かもしれない。



# 事例

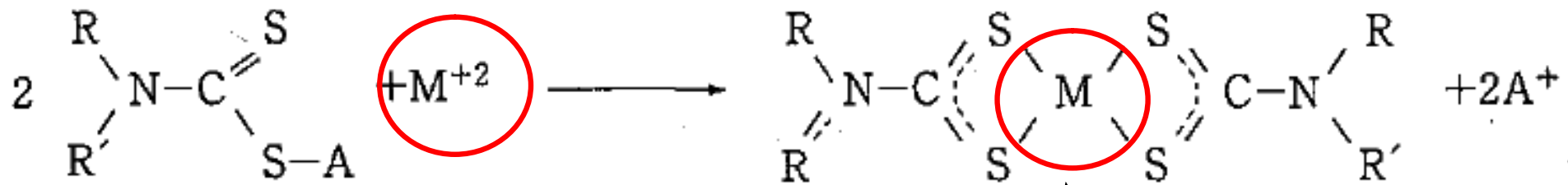
## ■埋立開始から2年弱

②CODが除去困難

mg/L	埋立地	計量槽	硝化槽出口	活性炭吸着塔入口	処理水
pH	9.3	7.6	7.6	7.3	7.2
COD	670	130	97	95	81
BOD	110	1.9	1.2	0.9	0.6
Ca	10,000	2,500	—	—	58
T-N	210	46	—	26	21
NH <sub>4</sub> -N	—	2.8	—	0.1未満	0.2
NO <sub>3</sub> -N	—	18.0	—	0.3	0.5
NO <sub>2</sub> -N	—	0.3	—	0.1未満	0.1未満

加鈣除去→生物処理（脱窒素）→凝集沈殿処理  
→砂ろ過→活性炭吸着→レト吸着→消毒・放流

## 2. キレート剤



A: アルカリ金属類  
R, R': アルキル基  
M: 重金属類

ジチオカルバミン酸基  
アミンCHNと  
二硫化炭素CS<sub>2</sub>

キレート (はさみ)

アミン: ジエチルアミン, ピペラジン, etc

# キレート原液の分析結果

分析項目	単位	ピペラジン系	テトラエチレンペンタミン系
生物化学的酸素要求量(BOD)	mg/L	<2000	98000
化学的酸素要求量(COD <sub>Cr</sub> )	mg/L	499000	888000
窒素含有量(T-N)	mg/L	41600	76900
アンモニア性窒素	mg/L	70	180
亜硝酸性窒素	mg/L	130	3
硝酸性窒素	mg/L	<20	<20

Chelating agent	Color	Density [g/mL]	TOC [g/L]	T-S [g/L]
Chelator J	Fawn	1.19	208	246
Chelator K	Yellow	1.22	117	226
Chelator L	Brown	1.24	115	222

出典) キレート処理した一般廃棄物焼却飛灰からの鉛の再溶出挙動に関する研究  
 廃棄物学会論文誌、Vol.16、No.3、平成17年、肴倉、田中、松籐

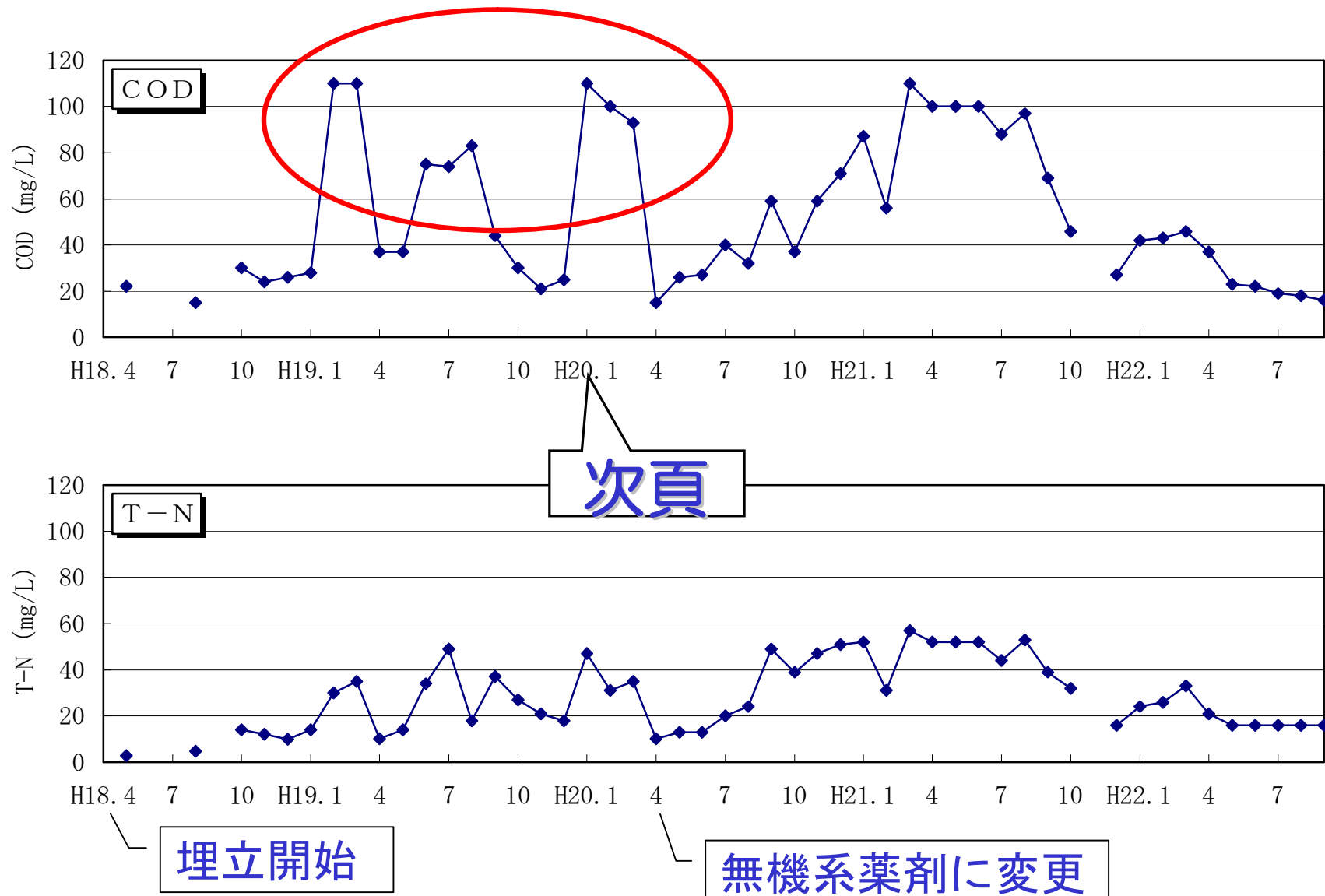
# 3. キレート剤の影響

## ■ 飛灰処理物と飛灰の溶出試験(13号)結果

分析項目	単位	A施設 (処理物)	B施設		C施設		D施設 (処理物)
			(処理物)	(飛灰)	(処理物)	(飛灰)	
焼却施設形式	—	ストーカ炉	ストーカ炉		ストーカ炉		流動床式ガス化溶融炉
セメント固化有無	—	なし	なし		なし		なし
キレート剤添加率 (対飛灰重量)	%	3.5	3		3		7
キレート剤種類	—	非ピペラジン系	ピペラジン系		ピペラジン系		C施設と同様
pH	—	12以上	12以上	12以上	12以上	12以上	11.3
BOD	mg/L	5.0未満	7.4	5.0未満	5.0未満	5.0未満	5.0未満
COD_Mn	mg/L	28.1	35.8	2.0未満	20.1	2.0未満	30.4
T-N	mg/L	16	20	1.0未満	7.1	5.2	8.6
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	0.4	0.3	0.5	0.9	4.2	0.9
NO <sub>2</sub> -N	mg/L	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.03	0.09
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	2.0未満	2.0未満	2.0未満	2.0未満	2.0未満	2.0未満



# 実際の施設では・・・



## ■ 埋立開始から2年弱

	埋立地	計量槽	硝化槽出口	活性炭吸着塔入口	処理水
pH	9.3	7.6	7.6	7.3	7.2
COD	670	130	97	95	81
BOD	110	1.9	1.2	0.9	0.6
Ca	10,000	2,500	—	—	58
T-N	210	46	—	26	21
NH <sub>4</sub> -N	—	2.8	—	0.1未満	0.2
NO <sub>3</sub> -N	—	18.0	—	0.3	0.5
NO <sub>2</sub> -N	—	0.3	—	0.1未満	0.1未満

# キレート剤の影響の原因（想定）

## ■文献等から、キレート剤が溶出する場合を想定

### ①余剰分（混練課程）のキレート剤の影響

キレート剤には選択性（ $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Zn}$ ）があることから、飛灰に多量に含まれているPb、Zn等を安全に不溶化させるために、必要以上のキレート剤を入れる場合がある。

このキレート剤は、余剰分としてキレート錯体を形成しない。

# キレート剤の影響の原因（想定）

## ②未反応分（混練課程）のキレート剤の影響

焼却施設の混練機において、飛灰、キレート剤、水等が混ぜられる。この過程で、キレート剤と水が反応して二硫化炭素が発生する場合がある。つまり、キレート剤が分解している状態のため、飛灰処理物にはキレート錯体が形成されない未反応分が含まれる。

## ③埋立地における分解

埋立地において風化等によってキレート錯体が分解され、鉛が再溶出するという研究結果がある。この場合、鉛とともに、キレート剤も溶出すると考えられる。



## 4. まとめと水処理施設の対応

- ①キレート剤は製品の種類に関わらずCOD、T-N（有機性窒素）を多く含んでいると考えられる。
- ②飛灰処理物主体の埋立地では、キレート剤の余剰分が多い場合などにCODやT-Nが高濃度になるおそれがある。
- ③CODは難分解性の有機物が主体であり、浸出水処理施設における生物処理や凝集沈殿処理では対応が難しく、活性炭吸着塔において活性炭の交換頻度を高めることにより対応する必要がある。
- ④T-Nは有機性窒素の一部は無機性窒素になるものの、有機性窒素として残るものがあり、生物処理による対応が困難であり、活性炭吸着塔において活性炭の交換頻度を高めることにより対応する必要がある。

# その他の対応方法

## 【水質設定：消極的な対応・・・】

- ①湖沼・海域等へ放流する場合を除いて、CODを処理対象としない
- ②窒素はアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の濃度で規定しておく

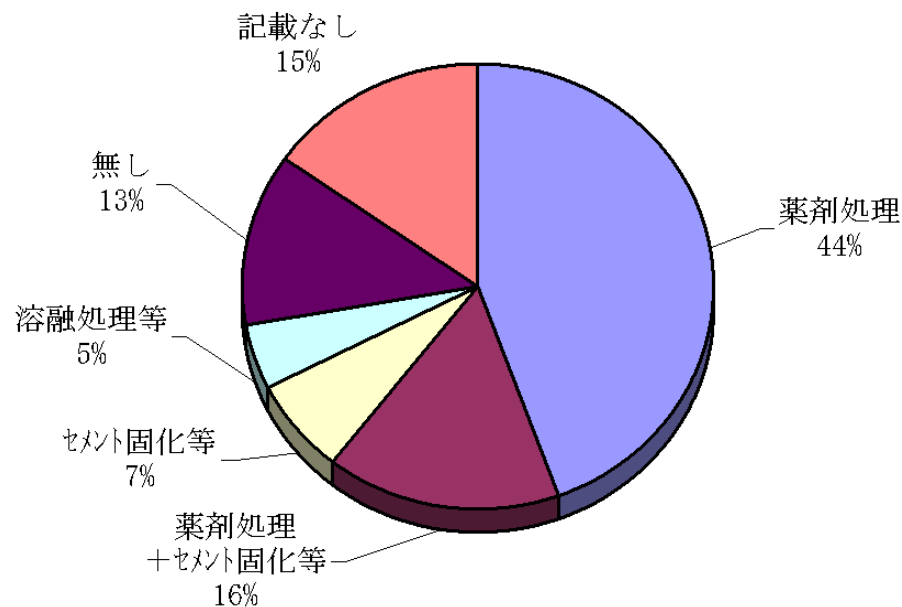
## 【埋立地では】

- ①内部貯留が生じないように適正に運転する
- ②飛灰処理物の風化が進まないように、速やかに覆土等をするとともに湿潤状態を保てるようにする

# 5. 水質設定

## ■ 飛灰処理物による浸出水への影響

原因	事象
飛灰処理物の存在 消石灰の影響	塩化物イオン濃度の上昇（処理水の塩問題、機器腐食）
	カルシウムイオン濃度の上昇（スケーリング）
	pH上昇（安定化への懸念）
	CODの上昇
キレート薬剤の影響	窒素・CODの上昇（処理水への懸念）



■ 飛灰処理方法の割合  
(平成20年度実態調査)

# その他含め整理：水質設定において

## 飛灰処理

## ばいじん除去法

## 焼却・溶融方式

### 飛灰 処理物

キレート剤  
ジエチルアミン系  
ピペラジン系  
その他

無機系薬剤

セメント固化

溶融処理等

湿式・半乾式・湿式

集じん機

電気集じん器  
バグフィルタ  
その他

薬剤

消石灰  
重曹  
その他

ストーカ炉飛灰

流動床炉飛灰

灰溶融飛灰

ガス化溶融炉飛灰

その他

## 【水質設定】

◆実際の埋立物を採取することができる場合

実際に溶出試験を行うこと重要

◆実際の埋立物を採取することができない場合

同様な中間処理を行っている施設の事例調査を行っておくことが重要

# 今後の検討課題

- ①焼却施設の炉形式による違い（飛灰量、Cl・Ca等の含有量）と浸出水への影響
- ②塩化水素の規制値（HCl, SO<sub>x</sub>等）の規制値・施設基準による影響
- ③消石灰（消石灰の補助剤からもCODが出る）、重曹の影響
- ④今回取り上げたキレート剤については、キレート剤の種類によってCODの凝集沈殿処理の性能に差異があるのか、キレート剤による有機性窒素がアンモニア性窒素へ分解することの確認
- ⑤キレート剤の他に無機系薬剤の影響（カルシウム汚泥の溶解）



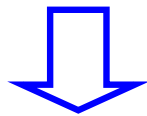
# 6. 焼却施設の改善

## ■ 焼却施設の改善

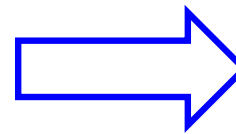
現 状		将 来	
焼却施設の処理状況	処分場への影響	焼却施設の改善案	処分場への影響
消石灰を使用	Ca の高濃度化 pH 上昇 (廃止の懸念)	重曹を使用	Ca の低濃度化 pH 上昇の緩和
セメント固化なし	Cl, Ca の溶出量増加	セメント固化あり	Cl, Ca の溶出量減少
キレート剤の利用	COD, T-N への影響	キレート剤の利用に 配慮	COD, T-N への影響を 緩和

# 最終処分場としては・・・未来

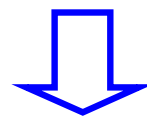
最終処分場信頼性向上



重金属類埋立基準  
(溶出基準)の撤廃



焼却施設負荷低減  
◆飛灰処理なし



- ◆重金属類等の回収
- ◆保管庫としての利便性大

# 7. その他：機能検査チェックリスト

浸出水処理施設点検チェックリスト（簡易検査）

施設名	〇〇処分場	点検担当者			
施設規模	〇〇 m³/日	点検年月日	平成 年 月 日		
天 候		作業時間	: ~ :		
流入 原水	外観	放 流 水	外観	水温	
	臭気		臭気	透視度	cm
	pH		pH	DO	mg/L
	EC		EC	mS/m	
	水温		残留塩素	mg/L	
機 器 類 点 検	機器名／点検箇所	状 態		異常有無	
	主電圧			有 ・ 無	
	サンドポンプ ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
	循環ポンプ ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
	調整槽攪拌プロワ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
	同上冷却ファン ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
	調整ポンプ ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
	原水攪拌ポンプ			有 ・ 無	
	揚水ポンプ ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
	No1 回転円板 ①			有 ・ 無	
		②			有 ・ 無
No1 循環槽攪拌ポンプ			有 ・ 無		
No2 回転円板			有 ・ 無		
No3 回転円板			有 ・ 無		
混合槽攪拌機			有 ・ 無		

装置名、プロセス名	点 検 内 容	
沈砂槽	沈殿物の有無	有・無・除去
原水槽	スカムの発生	多・少・無・除去
	レベルスイッチの作動	良好 ・ 不良
	水位の異常上昇の痕跡	有 ・ 無
	異常な臭気の発生	有 ・ 無
	汚泥堆積の状況	有 ・ 無
	外観	
	臭気	
計量槽	送水量	m³/時
	三角堰越流水深	cm
	夾雑物の沈殿	有・無・除去
混和槽	薬品注入の状況	良好 ・ 不良
	pH 値	
	凝集助剤（高分子凝集助剤）の補給、残液量	補給 L、残液 L
	アルカリ剤（苛性ソーダ）の補給、残液量	補給 L、残液 L
	凝集剤（塩化第二鉄）の補給、残液量	補給 L、残液 L
	フロックの生成状況	良好 ・ 不良
	外観	
ろ過原水槽	ろ過ポンプ吐出量	m³/h 良 ・ 否
	ろ過ポンプ作動	良好 ・ 不良
	レベルスイッチの作動	良好 ・ 不良
	水位の異常上昇の痕跡	有 ・ 無
ろ過塔	差圧	Mpa 良・否・要洗浄
中央操作盤 計測値表示	回転円板入口 pH	
	凝集槽 pH	
	中和槽 pH	
	滅菌槽 pH	
	流入水量積算計	
特記事項		